

*IX Международная научно-техническая конференция
«Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах»*

**К ВОПРОСУ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СВЯЗИ С
АКТУАЛЬНЫМИ ПРОБЛЕМАМИ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Харлашин П. С.¹

Анализ существующего положения в чёрной металлургии показывает, что улучшение качества металлопродукции, повышение надёжности, снижение металлоёмкости при одновременной интенсификации металлургических процессов является, без преувеличения, одной из важнейших задач.

Такие масштабные преобразования могут быть реализованы несколькими путями: получением металла с гарантированным уровнем надёжности, используя наработки и приёмы, связанные с модернизацией производства; обнаружением дефектов в металлах, оценкой степени их опасности и устранением источников их появления; созданием принципиально новых нетрадиционных экологически чистых эффективных технологий. Разработка новых технологических процессов является наиболее перспективной задачей и требует напряжённого труда учёных, значительных и дорогостоящих затрат, концентрации усилий на наиболее актуальных направлениях.

Фундаментальные теоретические основы классических сталеплавильных технологий заложены работами известных отечественных и зарубежных исследователей – Явойского В. И., Арсентьева П. П., Попеля С. И., Самарина А. М., Филлипова С. И., Баптизманского В. И., Меджибожского М. Я., Куликова И. С., Афанасьева С. Г., Гранта Д., Чипмена Дж., Шенка Г. и многих других. Сформулированные ими положения и установленные закономерности многократно подтверждены практическими, лабораторными исследованиями и экспериментами, проводимыми в течение многих десятилетий на различных лабораторных установках и промышленных агрегатах в изменяющихся технологических и конъюнктурных условиях.

Конечной стадией исследования учёных в области физической химии расплавов, теплоэнергетики, физики высоких температур должно явиться, по нашему мнению, создание научно-обоснованной технологии непрерывного, автоматизированного, малооперационного процесса получения металлопродукции с гарантированным уровнем надёжности непосредственно из руды, вместо существующей двухстадийной схемы руда-чугун-сталь. Создание принципиально новых процессов является, к сожалению, лишь далёкой перспективой. В настоящее время основные усилия должны быть направлены на проблему

¹ д.т.н., проф., ГБУЗ «ПГТУ», Мариуполь, Украина

получения бездефектной стали. С этой целью предполагается создать теоретически обоснованную физико-химическую модель строения расплавов.

В середине прошлого столетия выдающимся учёным В. И. Явойским, в созданной им научной школе, уделялось большое количество внимания изучению свойств металлов в жидком состоянии, получению высококачественных сталей и сплавов и проблемам качества. Имеющиеся многочисленные экспериментальные данные с невысокой степенью воспроизводимости, эмпирические зависимости не дают, к сожалению, в полной мере воплотить в жизнь эту идею. Необходимо отметить тот факт, что в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют обобщающие исследования по анализу и взаимосвязи процессов структурообразования и формирования свойств сталей и сплавов, начиная с жидкого состояния, перехода их в кристаллическое состояние и затем в процессах термообработки и прокатки. При этом наименее освещены процессы генетической связи структуры и свойств жидких и твердых металлов и сплавов [1-3].

Главной задачей прикладного направления физической химии расплавов железа является проблема получения чистой стали. Это особенно актуально, когда содержание некоторых примесей в стали определяется уже не процентами, а единицами ppm, в связи с чем требуется принципиально новый взгляд на отдельные положения теории строения сплавов на основе железа. Влиянию неметаллических включений на свойства металла посвящено множество работ известных учёных, однако, сделать однозначные выводы и дать практические рекомендации, обеспечивающие безусловное получение чистой стали до сих пор затруднительно. Целесообразно поставить следующие вопросы и проблемы, посвящённые образованию и очищению жидкого металла от неметаллических включений (н.в.): разработка методики объективного определения количества н.в., остающихся в твёрдом металле, что связано с задачей оценки минимальных размеров устойчивых в расплавах включений; определение спектра размеров неметаллических включений; разработка новых методов изучения тонкого строения границ раздела включение-матрицы, как в жидком, так и твёрдом состоянии; исследование диспергированной фазы и закономерностей движения частиц в расплавах; экспериментальная оценка степени опасности н.в. как концентраторов напряжений.

Можно прийти к выводу, что закономерности движения конденсированных фаз в расплавах и закономерности, связанные с процессами образования и очищения металла от н.в. окончательно в настоящее время не раскрыты. Неудивительно, что работы этого направления дают противоречивые результаты, т.к. исследования, проведенные даже в

рамках строгой теории подобия на органических жидкостях, вряд ли могут дать достоверную информацию о движении конденсированных фаз в реальных расплавах.

Использование в металлургическом производстве средств активного регулирования и прогнозирования свойств металлоизделий в процессах выплавки и термообработки с использованием компьютерных программ позволяет получить свободную от дефектов и неметаллических включений сталь, полностью контролировать ход процесса. Для дальнейшего усовершенствования металлургической промышленности необходимо рассмотреть вопросы, связанные с созданием банка экспериментальных данных, которые могут быть получены лишь в результате современного эксперимента с высоким уровнем воспроизводства. Для регулирования и прогнозирования свойств металла при проведении программы по созданию банка данных на первый план выдвигается главное требование для исследователя-металлурга – получить надежные и стабильные результаты, способные существенно влиять на усовершенствование существующих технологий [4, 5].

С целью изучения особенностей природы расплава необходимо проведение особоточных высокотемпературных измерений, использование сложных приемов постановки экспериментов и не менее сложных систем обработки полученных результатов. Указанные особенности, присущие эксперименту по изучению металлургических жидких систем, затрудняют получение корректных, научно обоснованных, воспроизводимых результатов характеристик по диффузии, межфазному взаимодействию в системах металл-шлак, поверхностному натяжению, вязкости, адсорбции металл-газ, металл-неметаллическое включение и т.д.

Во многих процессах, происходящих при производстве чугуна и стали, явления, развивающиеся на границах соприкосновения отдельных фаз играют ведущую, а иногда и решающую роль. Представление об отличии структуры и свойств пограничных слоёв, их областей проникло в теорию в тридцатых годах прошлого столетия. Стоит отметить, что впервые М.М. Карнаухов в полемике с Н.Н. Доброхотовым применил при анализе термодинамики окисления углерода и кинетики зарождения новой газообразной фазы (пузырьков СО) внутри жидкой металлической ванны понятие о капиллярном давлении и дал общеизвестное уравнение для определения суммарного противодействия, препятствующего зарождению пузырьков оксида углерода. Позднее И. А. Андреевым было детально разработаны вопросы кинетики зарождения пузырьков газа в гомогенной жидкости и на межфазных поверхностях контакта этой жидкости и твёрдых тел. В конце сороковых годов С. И. Сапиро успешно использовал появившиеся уже к тому времени данные о поверхностном натяжении железа, его сплавов, а также различных шлаков для изучения

вопросов укрупнения неметаллических включений в стали. Указанные разработки были весьма полезны, так как обратили серьёзное внимание металлургов на необходимость изучения поверхностных свойств металлургических расплавов.

В Приазовском государственном техническом университете на протяжении длительного времени создавалась опытно-экспериментальная база по изучению свойств расплавов на основе железа, разработаны методики исследования, необходимая аппаратура. Научные группы проанализировали существующие проблемы современной экспериментальной базы. На основе законов металлургической теплоэнергетики и физической химии были усовершенствованы и созданы новые перспективные методы изучения вязкостных, плавкостных, поверхностных и диффузионных характеристик металлов и шлаков. С использованием теоретических закономерностей были выполнены многочисленные эксперименты с использованием разработанных нашими специалистами измерительных ячеек комплексного изучения поверхностных и диффузионных характеристик, вибрационных вискозиметров. Большое внимание уделяется методикам, чистоте эксперимента, аппаратурному оформлению, термографированию процесса, оценке погрешности измерений, автоматизации этапов исследования.

Как известно, межфазные свойства определяют характер взаимодействия шлакового и металлического расплавов. Поэтому совершенствование и точность методов измерения этих характеристик имеют первоочередное значение в процессе создания теоретической модели расплавов. Для повышения точности измерения путей обеспечения устойчивости капли расплава в равновесных условиях нами разработан оригинальный способ определения межфазного натяжения на границе раздела металл-шлак [6]. Он заключается в формировании капли шлака в углублении на поверхности твердого металла, имеющей такую же форму, как и поверхность расплавленного металла, с последующим нагреванием его до плавления и фотографированием системы. Разработанный способ позволяет вдвое повысить точность определения межфазного натяжения и, тем самым, качественно улучшить эффективность исследований физико-химических свойств многокомпонентных металлургических расплавов. С помощью разработанного метода нами были изучены процессы взаимодействия жидкого металла с оксидными расплавами.

Исследователями особое внимание уделено разработке способа определения комплекса поверхностных и межфазных свойств расплавов и создания аппаратного оформления его реализации [7]. Способ (рис. 1) предусматривает получение в условиях одного эксперимента данных о поверхностных свойствах расплавов индивидуальных веществ и межфазных свойствах на границе раздела фаз металлургических систем.

В разработанном способе при измерении межфазных свойств использован прием, заключающийся в предварительном формировании исследуемых веществ в виде капель, последующей их кристаллизации и сближении в зоне нагрева на заданное расстояние с учетом теплового расширения. При постепенном плавлении капли плавно приходят в контакт.

С целью изучения процессов диффузии в расплаве сплавов на основе железа были разработаны метод и устройство (рис. 2) для определения коэффициента диффузии [8] с повышенной точностью определения характеристики при сокращенной продолжительности проведения серии измерений.

Разработанный метод предусматривает локализацию каждой пары контактирующих

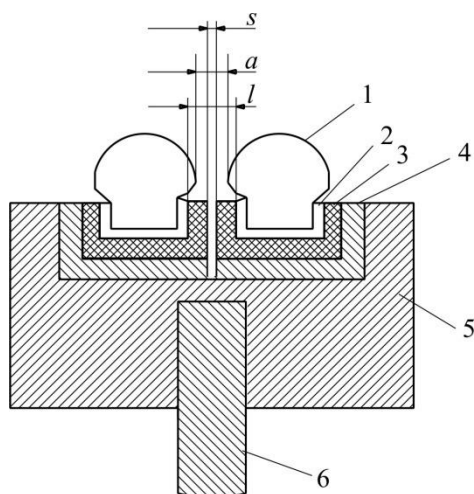


Рис. 1 – Размещение наружного механизма подачи подложки на предметном столике приспособления для юстировки подложек: 1 – навеска исследуемого вещества, сформированная в виде капли; 2 – тигель; 3 – подложка; 4 – механизм подачи подложки; 5 – предметный столик; 6 – шток; s – расстояние между механизмами подачи подложек; l – расстояние между краем подложки и ячейкой; a – расстояние между «холодными каплями» исследуемых веществ

веществ в объемах серии погруженных в расплав-растворитель капилляров с обеспечением для них идентичности условий диффузии. Равномерное размещение серии одинаковых капилляров с диффузантами гарантирует обеспечение одинаковых условий эксперимента для каждого диффузанта. Это позволяет ускорить проведение серии экспериментов с повышенной точностью и одновременным исследованием нескольких пар веществ. В настоящее время мы сосредоточили внимание на вопросе, связанном с размерами, распределением и видом неметаллических включений, с изучением поверхности раздела

«неметаллическое включение-матрица», с движением частиц в жидкой фазе.

Предполагается, что полученные экспериментальные данные послужат для развития представлений о ходе адсорбционных процессов на границах раздела многофазного металлического расплава. Как известно, в этой области отсутствуют достоверные методики, обработка экспериментальных данных содержит массу сложностей. Степень воспроизводства находится на невысоком уровне.

Для комплексного определения поверхностных и граничных свойств веществ в условиях одного эксперимента предложена специальная конструкция с оригинальной системой юстировки подложек, с механизмом подачи подложек с навесками в центр печи. Форма и размеры подложек соответствуют форме и размерам плоской кольцевой части механизмов подачи. Методика выполнения исследований зависит от номенклатуры определяемых поверхностных и граничных свойств материалов.

Разработанный способ и его аппаратное оформление позволяют получить стабильные результаты, воспроизводимые с точностью, которая повышается примерно в 2 раза за счет стабилизации условий проведения эксперимента и почти в 3 раза за счет управления процессом формирования площади контакта двух расплавов. Кроме того, применение разработанного способа значительно облегчает постановку эксперимента, т.к. большую часть операций выполняют при подготовке опыта, а основное время исследователь оперирует только двумя отградуированными механизмами, которые могут работать в ручном и автоматическом режиме. Представленный способ и устройство позволили определить комплекс физико-химических свойств расплавов в ходе одного эксперимента. Его можно применить при изучении поверхностных явлений и концентрационной и температурной диффузии.

Для получения достоверных экспериментальных данных при измерении угла смачиваемости был разработан способ формирования капли выдавливанием ее из внутреннего объема расплава через вертикальный канал заданного диаметра на твердую поверхность исследуемого материала (рис. 3) [9].

При таком ходе эксперимента удастся избежать неточности определения характеристик смачиваемости за счет возможного появления на поверхности расплава оксидных пленок, которые скапливаются у основания капли и препятствуют определению истинной точки касания. Кроме того, в этом случае капля неустойчива на плоской подложке и может смещаться при юстировке.

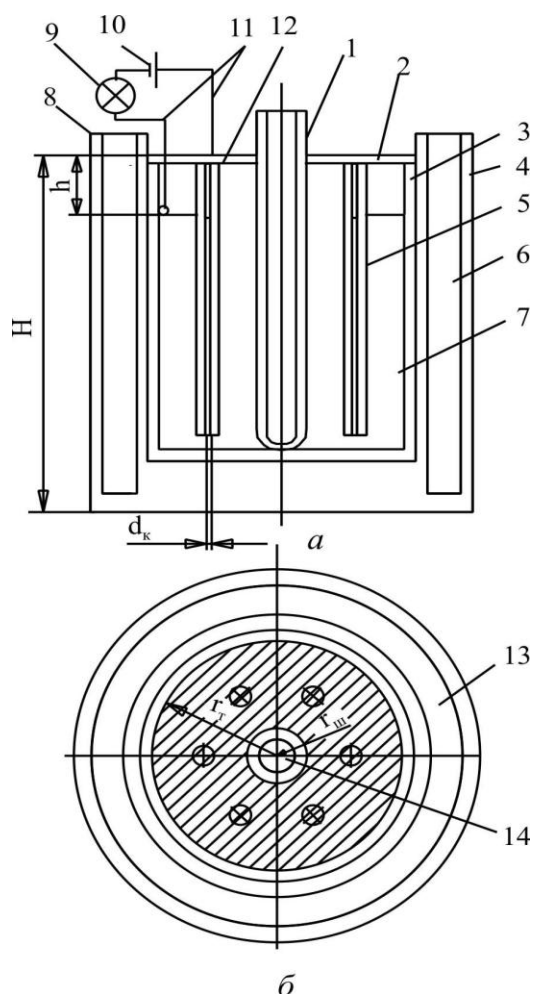


Рис. 2 – Схема установки для определения диффузионных характеристик веществ в расплавах:

a – продольный разрез в период нагрева и изотермической выдержки; *б* – поперечный разрез в момент закаливания расплава; 1 – шток, 2 – кольцевая обойма, 3 – корундовый тигель, 4 – графитовый кожух, 5 – капилляр, 6, 13, 14 – молибденовые вставки, 7- металл-растворитель, 8 – электрический контакт, 9 – сигнальная лампа, 10 – гальванический элемент, 11 – проводник, 12 – стержень.

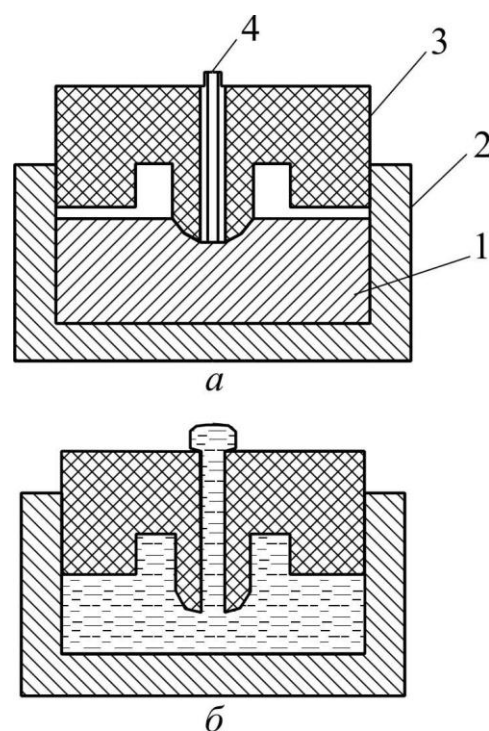


Рис. 3 – Схема формирования капли расплава для измерения краевого угла смачивания на границе жидкий металл – твердый оксид:

a – подготовка твердых образцов;
б – расплавление исследуемого вещества. 1 – исследуемый материал, 2 – тугоплавкий тигель, 3 – крышка из исследуемого материала, 4 – керамический

В результате проведенных экспериментов получены достоверные данные, позволяющие установить влияние межфазного натяжения на работу адгезии [10, 11].

При разработке высокотемпературного вибрационного вискозиметра и методики прецизионных измерений вязкости металлургических расплавов, прежде всего, мы учитывали природу и физико-химические свойства объектов измерения, интервал рабочих температур и давлений, состав и величину окислительного потенциала, временной фактор эксперимента, скорость перехода температуры на следующий уровень и т.п. Только в настоящее время, зная теорию метода вибрационной вискозиметрии, особенности, достоинства и недостатки отдельных элементов, пригодных для использования в конструкциях вибрационных вискозиметров, можно обоснованно подходить к их разработке.

Существует много примеров неудачных теоретически необоснованных моделей вибрационных вискозиметров. Основным источником ошибки является изменение их характеристик вследствие изменения внешних условий. Поэтому в экспериментах с этими вибрационными вискозиметрами необходимо уделять внимание термостатированию, защите от воздействия внешних полей и вибраций, поддержанию постоянного давления газовой фазы и т.п. Конструкция вискозиметра предусматривала особенности методики и обеспечивала минимальную вероятность проявления источников систематической ошибки.

Впервые были разработаны в конструкции высокотемпературного вибрационного вискозиметра блок датчика, система программного нагрева и прецизионного регулирования температуры, измерительная ячейка [12]. Тигли и зонды выполняются из молибдена. Известно, что при исследовании металлических расплавов основные трудности связаны с влиянием на колебания зонда примесей различной природы, содержащихся в образцах (пленки оксидов, неметаллические включения, газовые пузыри). Эти примеси непредсказуемым образом искажают истинное значение параметров колебания, определяемое вязкостью расплава.

В разработанной установке была создана восстановительная атмосфера (для избавления от пленок оксидов). От пузырьков газа избавлялись путем вывода зонда из расплава и т.д. Для осуществления автоматизации вискозиметрических измерений предусмотрена система управления, которая выполняет следующие функции: поддерживает гармонические колебания вибрационного устройства, фиксирует параметры колебаний, осуществляет программное управление температурой печи, изменяя ток и напряжение, регистрирует изменение температур участков рабочей зоны, осуществляет вакуумирование печи, управляет перемещением печи относительно зонда, фиксирует момент касания зондом расплава, анализирует полученные данные и выдает распечатку протокола эксперимента.

Для решения актуальных задач чёрной металлургии необходимо привлекать внимание ученых-металлургов, т. к. без достаточно глубокого научного анализа представленных вопросов невозможно подходить к коренной модернизации существующих и разработке новых технологий получения сталей и сплавов с заданными свойствами.

Библиографический список

1. Ершов Г. С. Структурообразование и формирование свойств стали и сплавов / Г. С. Ершов, Л. А. Поздняк. – Киев : Наукова думка, 1993. – 372 с.
2. Теория и практика современных окислительных процессов : (термодинамика и кинетика) / М. А. Григорьева, Т. Г. Сабирзянов, П. С. Харлашин, А. В. Явойский. – Донецк : Норд Компьютер, 2008. – 468 с.
3. Еланский Г. Н. Строение и свойства жидкого металла – технология – качество / Г. Н. Еланский, В. А. Кудрин. – М. : Металлургия, 1984. – 239 с.
4. Металургія : (проблеми, теорія, технологія, якість) : підручник для вузів / П. С. Харлашин [та ін.]; ПДТУ. – Донецьк : Норд Комп'ютер, 2004. – 723 с.
5. Харлашин П. С. Теоретические основы современных сталеплавильных процессов / П. С. Харлашин, Т. М. Чаудри. – К. : Вища шк., 2008. – 308 с.
6. А. с. 1002909 СССР, Кл.³ G 01 N 13/02. Способ измерения межфазного натяжения на границе металл-шлак-газ / П. С. Харлашин, Г. Д. Молонов, А. С. Хаджинов, Ю. И. Кирюшкин; заявитель Жданов. металлург. ин-т. – № 3363623/18–25; заявл. 17.09.81; опубл. 07.03.83, Бюл. № 9.
7. А. с. 1772691 СССР, МПК⁵ G 01 N 13/02. Способ определения поверхностных свойств расплавов и устройство для его осуществления / П. С. Харлашин; заявитель Мариуп. металлург. ин-т. – № 4754055/25; заявл. 13.08.90; опубл. 30.10.92, Бюл. № 40.
8. А. с. 1778629 СССР, МПК⁵ G 01 N 13/00. Способ определения коэффициентов диффузии в расплавах и устройство для его осуществления / П. С. Харлашин; заявитель Мариуп. металлург. ин-т. – № 4884962/25; заявл. 09.10.90; опубл. 30.11.92, Бюл. № 44.
9. А. с. 1744594 СССР, МПК⁵ G 01 N 13/02. Установка для определения плотности, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания расплавленного материала / П. С. Харлашин; заявитель Мариуп. металлург. ин-т. – № 4754055/25; заявл. 31.10.89; опубл. 30.06.92, Бюл. № 24.
10. Харлашин П. С. Миш'як в металургійних розплавах, процесах, технологіях. – К.: Вища шк., 2007. – 538 с.
11. Харлашин П. С. Некоторые вопросы термодинамики и кинетики процессов системы железо-мышьяк : учебное пособие / П. С. Харлашин. – К. : Вища школа, 1992. – 78 с.
12. Гладкий В. Н. Вискозиметрия металлургических расплавов / В. Н. Гладкий. – М. : Металлургия, 1989. – 94 с.